

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
10. Januar 2002 (10.01.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/03550 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H03H 17/06**

(72) Erfinder; und

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/07543

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **MENKHOFF, Andreas** [DE/DE]; Hoelsstrasse 17, 81927 München (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
2. Juli 2001 (02.07.2001)

(74) Anwalt: **CHARLES, Glyndwr**; Reinhard, Skuhra, Weise & Partner GbR, Postfach 44 01 51, 80750 München (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, KR, US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

(30) Angaben zur Priorität:
100 32 520.3 5. Juli 2000 (05.07.2000) DE

Veröffentlicht:

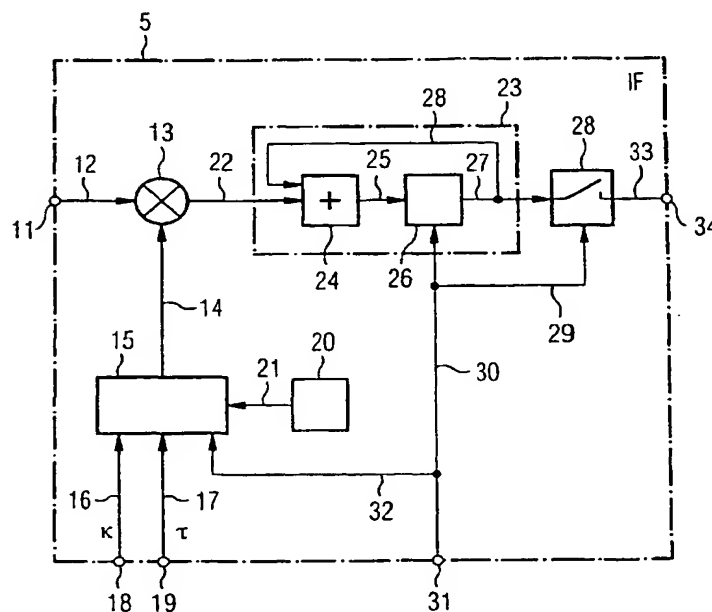
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **INFINEON TECHNOLOGIES AG** [DE/DE]; St.-Martin-Strasse 53, 81669 München (DE).

— mit internationalem Recherchenbericht
— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: INTERPOLATION FILTER AND METHOD FOR DIGITALLY INTERPOLATING A DIGITAL SIGNAL

(54) Bezeichnung: INTERPOLATIONSFILTER UND VERFAHREN ZUR DIGITALEN INTERPOLATION EINES DIGITALEN SIGNALS



(57) Abstract: The invention relates to an interpolation filter and to a method for filtering a digital input signal. The interpolation filter has an amplitude characteristic with a low-pass-shaped damping curve in the useful signal frequency range of the digital input signal. The group delay time of the interpolation filter is essentially constant in the useful signal frequency range and can be adjusted within a clock period of the equidistant digital signal.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/03550 A1



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Interpolationsfilter und Verfahren zur Filterung eines digitalen Eingangssignals, wobei das Interpolationsfilter einen Amplitudengang mit einem tiefpassförmigen Dämpfungsverlauf im Nutzsignal-Frequenzbereich des digitalen Eingangssignals aufweist. Die Gruppenlaufzeit des Interpolationsfilters verläuft dabei im Nutzsignal-Frequenzbereich im wesentlichen konstant und ist innerhalb einer Taktperiode des äquidistanten digitalen Signals einstellbar.

Beschreibung

Interpolationsfilter und Verfahren zur digitalen Interpolation eines digitalen Signals

5

Die Erfindung betrifft ein Interpolationsfilter und ein Verfahren zur Interpolation eines digitalen Signals, das insbesondere zur Abtastratenwandlung einsetzbar sind.

10 Es gibt eine Vielzahl von Anwendungen, bei denen es notwendig ist, die Frequenz eines gegebenen digitalen äquidistanten Zeitsignals durch digitale Filterung zu verändern. Interpolationsfilter werden als Teilschaltungen in digitalen Schaltungssystemen eingesetzt, bei denen eine Änderung der Abtast-
15 rate von digitalen Signalen erforderlich ist. Systeme, die sich nur mit einfachen ganzzahligen Abtastratenverhältnissen befassen, sind nicht Gegenstand der Erfindung.

Aus "IEEE, Transactions of Acoustics, Speech and Signal Processing", Band ASSP-32, Nr. 3, Juli 1984, S. 577-591, sind
20 unter dem Titel "Digital Methods for Conversion between Arbitrary Sampling Frequencies", Autor: T. A. Ramstad, Verfahren zur beliebigen Änderung von Abtastraten beschrieben. Die zugehörigen Schaltungen werden als hybride Systeme bezeichnet, die aus einem ersten Interpolationsfilter mit festem Ab-
25 tastratenverhältnis und einem zweiten Interpolationsfilter bestehen. Durch das zweite Interpolationsfilter werden Zwischenwerte bestimmt, die zeitlich beliebig zwischen den festen Abtastwerten des Abtastrasters nach dem zweiten Interpolationsfilter liegen und damit beliebige Abtastratenverhältnisse
30 zulassen. Das erste Interpolationsfilter enthält als Kombination eine Interpolationseinrichtung und ein digitales Filter. Mit der Interpolationseinrichtung, die auch als Überabtasteinrichtung bezeichnet wird, werden "0"-Werte entsprechend einem Überabtastfaktor N zwischen die ursprünglichen
35 Abtastwerte eingefügt. Erst ein nachfolgendes digitales Filter glättet den Verlauf der digitalen Abtastwerte, wobei ins-

besondere die Signalsprünge auf die 0-Werte ausgeglichen werden, so dass das Spektrum des Nutzsignals nicht durch höhere Frequenzkomponenten verfälscht wird. Hierzu ist das erste Interpolationsfilter so ausgebildet, dass größere Frequenzbereiche in dem sich unendlich erstreckenden Frequenzspektrum gebildet werden. Auch bei der Überabtastung gilt, dass sich die Frequenzspektren bei der halben ursprünglichen Abtastfrequenz und deren Vielfachen spiegeln. Nach der Interpolationseinrichtung und nach dem digitalen Filter ist allerdings von einer neuen Abtastfrequenz auszugehen, die in einem ganzzahligen Frequenzverhältnis zu der ursprünglichen Abtastfrequenz steht. Das digitale Filter entfernt dabei die verbleibenden spektralen Komponenten zwischen dem Nutzsignalband und dem gespiegelten Frequenzband bei der neuen Abtastfrequenz und den zugehörigen Frequenzvielfachen. Das digitale Filter funktioniert dabei einfach als digitaler Tiefpaßfilter, der den Nutzsignal-Frequenzbereich durchläßt und die darüber liegenden Frequenzkomponenten unterdrückt. Dabei tritt allerdings entsprechend dem Abtasttheorem eine Spiegelung bei der halben Abtastfrequenz auf. Ein digitales Tiefpaßfilter kann daher die Vielfachen der Abtastfrequenz nicht unterdrücken.

Die spektralen Signalkomponenten bei der neuen Abtastfrequenz und den Frequenzvielfachwerten müssen für die Realisierung beliebiger Abtastratenverhältnisse unterdrückt werden. Werden diese Signalstörkomponenten nicht unterdrückt, dann treten bei der Erzeugung beliebiger Abtastratenverhältnisse Signalstörkomponenten im Nutzsignal-Frequenzband auf. Das erste Interpolationsfilter wird in "Proceedings of the IEEE", Band 61, Nr. 6, Juni 1973, S. 692-702, und in dem Aufsatz "A Digital Signal Processing Approach to Interpolation" von R. W. Schafer und L. R. Rabiner beschrieben.

Aus der EP-A-0 561 067 ist ein Verfahren mit einem hybriden System zur Abtastratenumsetzung bekannt. Dieses System arbeitet mit einem Überabtastfaktor $N = 2$ und erreicht damit nur

ein relativ schlechtes Signal-/Rauschverhältnis. Dieses schlechte Signal-/Rauschverhältnis ist bei diesem hybriden System tolerierbar, da es für Video-Signalanwendungen eingesetzt wird. Ein zweites Interpolationsfilter ist als Tiefpaß-
5 filter realisiert, das alle Signalkomponenten unterdrückt, deren Frequenzen über dem 1,5-fachen Wert der ursprünglichen Abtastfrequenz liegen. Das analoge Tiefpaßverhalten wird mit einem Transversalfilter erreicht, bei dem die Gewichtungsfaktoren der gespeicherten Abtastwerte von einem Zeitdifferenzwert abhängig sind. Ein derartiger Tiefpaßfilter unterdrückt
10 dabei nicht nur die verbleibenden spektralen Signalkomponenten bei den Frequenzvielfachwerten der neuen Abtastfrequenz, sondern den gesamten Frequenz-Spektralbereich oberhalb einer Sperrflanke. Nach einem vergleichbaren Durchlaß-/Sperrverhalten ist ein derartiger Tiefpaß im Vergleich zu einer entsprechenden Kammfilteranordnung nur sehr aufwendig zu realisieren.

Aus "Journal of Audio Engineering Society", Band 41, Nr. 7/8,
20 1993, S. 539-555, von R. Adams und T. Corn mit dem Titel "Theory and VLSI Architectures for Asynchronous Sample Rate Converters" wird ein Verfahren für ein Abtastraten-Wandlungssystem beschrieben, das einerseits die Verwendung einfacherer Abtasthaltungsschaltungen und andererseits die Ver-
25 wendung von Tiefpaßfiltern als analoge Resampler behandelt.

Bei den oben genannten Systemen sind nach der N-fachen Überabtastung und Filterung nach dem ersten Interpolationsfilter im Frequenzspektrum auf jeden Fall Störsignal-Frequenz-
30 bereiche vorhanden, deren Mittenfrequenzen bei den Frequenzvielfachwerten der neuen Abtastfrequenz liegen. Die Frequenzbandbreite eines jeden Signalstörbereichs ist dabei gleich der doppelten Frequenzbandbreite des Nutzsignals. Wenn die Nyquist-Bedingung für die ursprüngliche Digitalisierung erfüllt ist, hat die Frequenzbandbreite des Störsignalbereichs
35 im Grenzfall maximal den Wert der ursprünglichen Abtastfrequenz. Die Lage und Bandbreite sämtlicher Störbereiche ist im

Frequenzspektrum durch die ursprüngliche Abtastfrequenz und den ursprünglichen Überabtastfaktor N definiert. Die N -fache Überabtastung der ursprünglichen digitalen Abtastfolge bewirkt, dass die relative Frequenzbandbreite der Störsignale im Frequenzspektrum bezogen auf die neue Abtastfrequenz um den Faktor $1/N$ reduziert wird. Dies erleichtert die Trennung des Nutzsignal-Frequenzbandes von dem jeweiligen Störsignal-Frequenzbereich, da der Übergangsbereich zwischen dem Durchlaß und dem Sperrfrequenzbereich für das zweite Interpolationsfilter vergrößert wird. Hierdurch wird der erforderliche Schaltungsaufwand für das zweite Interpolationsfilter verringert. Dies wird jedoch durch einen höheren Schaltungsaufwand für das Glättungsfilter in dem ersten Interpolationsfilter erkauft. Es ist daher entweder ein sehr aufwendiges erstes Interpolationsfilter und ein einfaches zweites Interpolationsfilter, beispielsweise ein linearer Interpolator, notwendig, oder man hat ein einfaches erstes Interpolationsfilter, beispielsweise mit einer sehr geringen Überabtastung, und ein sehr aufwendiges Tiefpaßfilter, mit dem der analoge Resampler realisiert wird.

In der EP 0 696 848 A1 wurde daher ein Verfahren zur digitalen Interpolation von Signalen vorgeschlagen, das zu einem sehr hohen Signal-/Rauschverhältnis führt bei gleichzeitig geringem schaltungstechnischen Aufwand für das Filtersystem, das aus einem ersten und zweiten Interpolationsfilter besteht. Bei diesem Verfahren zur digitalen Interpolation von Signalen werden Gewichtungsfaktoren bzw. Filterkoeffizienten mit verzögerten Eingangswerten eines digitalen Signals, das eine erste Taktfrequenz aufweist, multipliziert, wobei die Verzögerung von einem Zeitdifferenzwert abhängig ist, der durch den Interpolationszeitpunkt und durch das Zeitraster des ersten Taktsignals bestimmt wird. Die Filterkoeffizienten des Interpolationsfilters sind durch die Impulsantwort $h(t)$ im Zeitbereich bestimmt. Die zugehörige Übertragungsfunktion $H(F)$ weist im Frequenzbereich ein Signaldämpfungsverhalten auf, das bezüglich der Sperrbereiche im wesentlichen auf die

bei den Frequenzvielfachen der ersten Taktfrequenz liegenden Signalstörbereiche beschränkt ist. Dabei werden jedem dieser Signalstörbereiche im Frequenzspektrum mindestens zwei nebeneinanderliegende Nullstellen zugeordnet. Bei Vorhandensein

5 von Nullstellen doppelter Ordnung wird mindestens einem der Störbereiche und den zugehörigen periodischen Störbereichen mindestens eine weitere Nullstelle der Übertragungsfunktion $H(F)$ zugeordnet.

10 Der Amplitudengang des in der EP 0 696 841 A1 beschriebenen Interpolationsfilter verläuft kammförmig und weist aufgrund der schmalbandigen Störsignal-Frequenzbereiche einen nur sehr schmalbandigen Nutzsignal-Frequenzbereich auf.

15 Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Interpolationsfilter zur Filterung eines digitalen Eingangssignals und ein Verfahren zur digitalen Interpolation von digitalen Eingangssignalen zu schaffen, die einen breitbandigen Nutzsignal-Frequenzbereich aufweisen.

20

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Interpolationsfilter mit den im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst.

25 Die Erfindung schafft ein Interpolationsfilter zur Filterung eines digitalen Eingangssignals, dessen Amplitudengang einen tiefpasßförmigen Dämpfungsverlauf im Nutzsignal-Frequenzbereich des digitalen Eingangssignals aufweist.

30 Aufgrund des breitbandigen Nutzsignal-Frequenzbereichs bietet das erfindungsgemäße Interpolationsfilter den Vorteil, dass auch breitbandige digitale Eingangssignale verarbeitbar sind.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass das erfindungsgemäße

35 Interpolationsfilter auch für Analog-/Digitalwandler mit höchsten Abtastfrequenzen einsetzbar ist, da in praktischen

Anwendungen die gesamte Schaltung auf nur einfache bis vierfache Nutzsignalbandbreite berechnet wird.

Die niedrigen Abtastfrequenzen bzw. die langen Taktperioden T der digitalen Signalverarbeitung bieten den Vorteil, dass die Bauelemente des Interpolationsfilters, beispielsweise Demultiplexer, bei niedrigen Frequenzen arbeiten und daher schaltungstechnisch besonders einfach realisierbar sind.

Dies hat wiederum den Vorteil, dass die Bauelemente des Interpolationsfilters auf einer geringen Chipfläche integrierbar sind und einen geringen Stromverbrauch haben.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Interpolationsfilters ist dem Interpolationsfilter ein Hochpaßfilter zur Kompensation des tiefpaßförmigen Amplitudenganges des Interpolationsfilters nachgeschaltet.

Dies bietet den Vorteil, dass Signalverzerrungen aufgrund des tiefpaßförmigen Dämpfungsverlaufs in dem gefilterten Ausgangssignal des Interpolationsfilters beseitigt werden.

Im Nutzsignal-Frequenzbereich des digitalen Eingangssignals verläuft die Gruppenlaufzeit des Interpolationsfilters vorteilhafterweise im wesentlichen konstant.

Das digitale Eingangssignal, welches durch das erfindungsgemäße Interpolationsfilter gefiltert wird, ist vorzugsweise ein äquidistantes digitales Signal mit einer vorbestimmten Taktperiode T_{in} .

Dabei ist die Gruppenlaufzeit des erfindungsgemäßen Interpolationsfilters vorzugsweise innerhalb der Taktperiode T_{in} des digitalen Eingangssignals einstellbar.

Das Verhältnis der Taktperioden des digitalen Eingangssignals T_{in} und des durch das Interpolationsfilter gefilterten digitalen Ausgangssignals T_{aus} ist vorzugsweise einstellbar.

- 5 Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist das Interpolationsfilter und das nachgeschaltete Hochpaßfilter zusammen eine sinc-Filtercharakteristik auf.

10 Dem Interpolationsfilter ist vorzugsweise ein weiteres Interpolationsfilter zur Einengung des Nutzsignal-Frequenzbereichs vorgeschaltet.

Bei dem vorgeschalteten Interpolationsfilter handelt es sich vorzugsweise um ein Polyphasenfilter.

15

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Interpolationsfilters besteht das Interpolationsfilter aus
einer Filterkoeffizienten-Erzeugungseinrichtung zur Erzeugung
20 von Filterkoeffizienten in Abhängigkeit von einer Basisfunktion,
einer Multiplikationseinrichtung zur Multiplikation des digitalen Eingangssignals mit den erzeugten Filterkoeffizienten,
und aus einem Akkumulator zur Akkumulation des durch die Multiplikation gewichteten digitalen Eingangssignals.
25

Die Basisfunktion wird vorzugsweise in einer Speichereinrichtung des Interpolationsfilters abgespeichert.

30 Alternativ dazu verweist das erfindungsgemäße Interpolationsfilter gemäß einer weiteren Ausführungsform eine Basisfunktion-Generierungseinrichtung zum Generieren der Basisfunktion in Abhängigkeit von Grundfunktionen auf.

35 Hierzu wird vorzugsweise eine Speichereinrichtung zum Speichern der Grundfunktionen vorgesehen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Interpolationsfilters weist dieses eine steuerbare Schalteinrichtung auf, die zum Auslesen des gewichteten digitalen Eingangssignals als digitales Ausgangssignal schaltbar ist.

5

Bei einer bevorzugten Ausführungsform besteht der Akkumulator aus einem Addierer und einem Register, dessen Ausgang an einen Eingang des Addierers rückgekoppelt ist.

- 10 Die Erfindung schafft ferner ein Verfahren zur digitalen Interpolation von einem digitalen Eingangssignal mit den im Patentanspruch 16 angegebenen Merkmalen.

15 Die Erfindung schafft ein Verfahren zur digitalen Interpolation eines digitalen Eingangssignals mit den folgenden Schritten, nämlich

- Empfangen eines digitalen Eingangssignals mit einer bestimmten Taktfrequenz,
Bestimmen von Filterkoeffizienten eines einstellbaren Interpolationsfilters, dessen Amplitudengang einen tiefpaßförmigen Dämpfungsverlauf im Nutzsignal-Frequenzbereich des digitalen Eingangssignals aufweist,
20 Filtern des digitalen Eingangssignals mit dem eingestellten Interpolationsfilter.

25

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden die Filterkoeffizienten des Interpolationsfilters vorzugsweise in Abhängigkeit von einer Basisfunktion bestimmt.

- 30 Diese Basisfunktion wird vorzugsweise vorher in einem Speicher abgespeichert.

Alternativ dazu wird die Basisfunktion gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens aus vorgegebenen Grundfunktionen generiert.

35

Dabei ist eine erste Grundfunktion vorzugsweise eine zeitbegrenzte potenzierte Sinusfunktion.

Die zweite Grundfunktion ist vorzugsweise eine Abtasthaltefunktion erster Ordnung.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Vielzahl von Filterkoeffizientensätzen des Interpolationsfilters in Abhängigkeit von der Basisfunktion generiert, die jeweils im Nutzsignal-Frequenzbereich einen im wesentlichen gleichen Amplitudengang, aber unterschiedliche Gruppenlaufzeiten aufweisen, wobei anschließend derjenige Filterkoeffizienten-Satz zur Bestimmung der Filterkoeffizienten des Interpolationsfilters selektiert wird, dessen Gruppenlaufzeit τ der eingestellten Gruppenlaufzeit entspricht.

Im weiteren werden bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Interpolationsfilters zur Filterung eines digitalen Eingangssignals und des erfindungsgemäßen Verfahrens zur digitalen Interpolation eines digitalen Eingangssignals unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren zur Erläuterung erfindungswesentlicher Merkmale beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 eine typische Schaltungsanordnung, die das erfindungsgemäße Interpolationsfilter enthält;

Fig. 2 eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Interpolationsfilters;

Fig. 3a einen Amplitudengang des erfindungsgemäßen Interpolationsfilters;

Fig. 3b den Gruppenlaufzeitverlauf eines erfindungsgemäßen Interpolationsfilters;

Fig. 4a den Amplitudengang eines ersten beispielhaften Interpolationsfilters gemäß der Erfindung;

- 5 Fig. 4b den zugehörigen Gruppenlaufzeitverlauf des erfindungsgemäßen Interpolationsfilters mit dem Amplitudengang gemäß Fig. 4a;

- 10 Fig. 5a den Amplitudengang eines weiteren Interpolationsfilters gemäß der Erfindung;

Fig. 5b den Gruppenlaufzeitverlauf des Interpolationsfilters mit dem in Fig. 5a dargestellten Amplitudengang;

- 15 Fig. 6 ein Beispiel für eine Basisfunktion, die zur Ermittlung der Filterkoeffizienten des erfindungsgemäßen Interpolationsfilters eingesetzt wird;

- 20 Fig. 7 den Verlauf der Gruppenlaufzeit einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Interpolationsfilters mit der in Fig. 6 dargestellten Basisfunktion im Vergleich zum Verlauf der Gruppenlaufzeit eines Interpolationsfilters nach dem Stand der Technik.

- 25 Fig. 1 zeigt eine typische Schaltungsanordnung, bei der das erfindungsgemäße Interpolationsfilter zur Filterung eines digitalen Eingangssignals eingesetzt wird.

- 30 Ein an einer Leitung 1 anliegendes Analogsignal wird durch einen Analog-/Digitalwandler 2 mit einer Abtastfrequenz $f_{\text{ab-tast}}$, die über eine Taktleitung 3 zugeführt wird, abgetastet und gibt ein digitalisiertes Ausgangssignal über eine Leitung 4 an das erfindungsgemäße Interpolationsfilter 5 ab. Das Interpolationsfilter 5 weist Einstelleitungen 6, 7 zum Einstellen der Soll-Gruppenlaufzeit τ und des Dezimationsfaktors K auf. Das Interpolationsfilter 5 filtert das an der Leitung 4 anliegende digitale Eingangssignal und gibt ein gefiltertes
- 35

digitales Ausgangssignal über eine Signalleitung 8 an ein nachgeschaltetes Hochpaßfilter 9 ab. Das Hochpaßfilter 9 filtert das an der Leitung 8 anliegende gefilterte Ausgangssignal des erfindungsgemäßen Interpolationsfilters 5 erneut und gibt ein entsprechendes gefiltertes Ausgangssignal über eine Leitung 10 ab.

Das an dem Interpolationsfilter 5 anliegende digitale Eingangssignal weist eine Taktfrequenz f_{in} auf, die der Abtastfrequenz f_{abtast} des Analog-/Digitalwandlers 2 entspricht. Das an der Signalausgangsleitung 8 anliegende gefilterte digitale Ausgangssignal weist eine Ausgangstaktfrequenz f_{aus} auf. Der über die Einstelleitung 7 einstellbare Dezimationsfaktor K gibt das Verhältnis zwischen der Eingangsfrequenz f_{in} des digitalen Eingangssignals und der Ausgangsfrequenz f_{aus} des gefilterten digitalen Ausgangssignals an.

$$K = \frac{f_{in}}{f_{aus}} \quad (1)$$

20

Das erfindungsgemäße Interpolationsfilter 5 weist einen Amplitudengang auf mit einem tiefpaßförmigen Dämpfungsverlauf im Nutzsinal-Frequenzbereich des an der Leitung 4 anliegenden digitalen Eingangssignals. Aufgrund des tiefpaßförmigen Dämpfungsverlaufs des Interpolationsfilters kommt es zu Signalverzerrungen des digitalisierten Ausgangssignals des Interpolationsfilters 5. Das nachgeschaltete Hochpaßfilter 9 dient zur Beseitigung dieser aufgetretenen Verzerrungen, indem es den tiefpaßförmigen Amplitudengang des Interpolationsfilters 5 durch einen komplementär dazu verlaufenden Amplitudengang kompensiert.

Fig. 2 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform des in Fig. 1 dargestellten erfindungsgemäßen Interpolationsfilters 5.

Das Interpolationsfilter 5 besitzt einen Signaleingang 11 zum Empfang eines digitalen Eingangssignals. Der digitale Signaleingang 11 des Interpolationsfilters 5 ist über eine Leitung 12 mit einer Multiplikationseinrichtung 13 verbunden. Die Multiplikationseinrichtung 13 multipliziert das an der Leitung 12 anliegende digitale Eingangssignal mit Filterkoeffizienten bzw. Gewichtungsfaktoren, die an einer Leitung 14 des Interpolationsfilters 5 anliegen. Die Filterkoeffizienten des Interpolationsfilters 5 werden dabei in einer Filterkoeffizienten-Erzeugungseinrichtung 15 des Interpolationsfilters 5 erzeugt. Die Filterkoeffizienten-Erzeugungseinrichtung 15 ist über interne Einstelleitungen 16, 17 an Einstellanschlüsse 18, 19 des Interpolationsfilters 5 angeschlossen. Über den Einstellanschluß 18 des Interpolationsfilters 5 ist der gewünschte Dezimationsfaktor K einstellbar. An dem Einstellanschluß 19 kann die gewünschte Gruppenlaufzeit τ des Interpolationsfilters 5 eingestellt werden. Die Filterkoeffizienten-Erzeugungseinrichtung 15 erzeugt in Abhängigkeit von einer Basisfunktion die Filterkoeffizienten. Dabei ist die Basisfunktion bei der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform in einer Speichereinrichtung 20 abgespeichert und wird über eine interne Leitung 21 durch die Filterkoeffizienten-Erzeugungseinrichtung 15 ausgelesen.

Bei einer alternativen Ausführungsform ist die Basisfunktion nicht vorab gespeichert, sondern wird durch eine Basisfunktion-Generierungseinrichtung in Abhängigkeit von Grundfunktionen generiert. Dabei sind die Grundfunktionen vorzugsweise in einer Speichereinrichtung abgespeichert.

30

Das durch Multiplikation gewichtete digitale Eingangssignal gelangt von der Multiplikationseinrichtung 13 über eine interne Leitung 22 zu einem Akkumulator 23 zur Akkumulation des gewichteten digitalen Eingangssignals. Der Akkumulator 23 enthält einen Addierer 24, der ausgangsseitig über eine Leitung 25 mit einem Register 26 verbunden ist. Die Ausgangsleitung 27 des Registers 26 ist über eine Leitung 28 an einen

35

zweiten Eingang des Addierers 24 rückgekoppelt. Die Ausgangs-
leitung 27 liegt an einer Schalteinrichtung 28 an. Die
Schalteinrichtung 28 ist über eine Steuerleitung 29 steuer-
bar, die mit einer Rücksetzleitung 30 für das Register 26 ge-
5 koppelt ist. Die Rücksetzleitung 30 ist mit einem Rückset-
zanschluß 31 des Interpolationsfilters 5 verbunden. An der
Rücksetzleitung 30 ist ferner eine interne Rücksetzleitung 32
für die Filterkoeffizienten-Erzeugungseinrichtung 15 ange-
schlossen. Die Schalteinrichtung 28 ist über eine interne
10 Leitung 33 mit einem digitalen Signalausgang 34 des Interpo-
lationsfilters 5 verbunden. An den digitalen Signalausgang 34
kann beispielsweise das in Fig. 1 dargestellte Hochpaßfilter
9 angeschlossen werden.

15 Über die Rücksetzleitung 30 ist das Register 26 des Akkumula-
tors 23 zurücksetzbar, wobei der in dem Register 26 zwischen-
gespeicherte akkumulierte Digitalwert vor dem Rücksetzen über
die Schalteinrichtung 28 zum Auslesen an den digitalen Sig-
nalausgang 34 abgegeben wird. Der Rücksetzanschluß 31 des In-
20 terpolationsfilters 5 wird vorzugsweise an eine zentrale
Steuerung angeschlossen.

Fig. 3a zeigt den Amplitudengang des erfindungsgemäßen Inter-
polationsfilters 5. Der Amplitudengang des erfindungsgemäßen
25 Interpolationsfilters 5 weist einen tiefpaßförmigen Dämp-
fungsverlauf bereits im Nutzsinal-Frequenzbereich Δf_{nutz} des
digitalen Eingangssignals auf. Im höherfrequenten Bereich ist
der Amplitudengangverlauf leicht wellenförmig und besitzt
mehrere Nullstellen. Die Dämpfung in diesem höheren Frequenz-
30 bereich ist sehr hoch. Im Nutzsinal-Frequenzbereich bzw.
Durchlaß-Frequenzbereich weist das Interpolationsfilter 5 e-
benfalls eine gewisse Dämpfung auf, die bewußt in Kauf genom-
men wird.

35 Fig. 3b zeigt die zugehörige Gruppenlaufzeit τ des Interpola-
tionsfilters 5. Die Gruppenlaufzeit τ ist die Ableitung des
Phasengangs des Interpolationsfilters 5 nach der Frequenz.

Wie man aus Fig. 3b erkennen kann, ist die Gruppenlaufzeit τ des Interpolationsfilters 5 im Nutzsinal-Frequenzbereich Δf_{nutz} des digitalen Eingangssignals im wesentlichen konstant und läuft erst in höherfrequenten Frequenzbereichen auseinander.

Die Fig. 4a, 4b zeigen den Amplitudengang und den zugehörigen Verlauf der Gruppenlaufzeit τ als Beispiel für ein erfindungsgemäßes Interpolationsfilter 5 mit der folgenden Basisfunktion $BF(x)$:

$$BF(x) = \sin\left(t \cdot \frac{\pi}{12}\right)^{12} \sigma(t) - \sin\left(t \cdot \frac{\pi}{12}\right)^{12} \cdot \sigma(t-12) \quad (2)$$

Auf der Grundlage der gespeicherten oder generierten Basisfunktion werden verschiedene Filterkoeffizientensätze durch die Filterkoeffizienten-Generierungseinrichtung 15 des Interpolationsfilters 5 erzeugt, die jeweils in dem Nutzsinal-Frequenzbereich Δf_{nutz} jeweils einen im wesentlichen gleichen Amplitudengang, aber unterschiedliche Gruppenlaufzeiten τ aufweisen. Wie man aus Fig. 4a erkennen kann, sind die Amplitudengänge, die durch die verschiedenen Filterkoeffizientensätze erzeugt werden, im Nutzsinal-Frequenzbereich Δf_{nutz} bis $f = 0,45 f_{\text{in}}$ im wesentlichen gleich. Dabei ist f_{in} die Frequenz des am digitalen Dateneingang 11 des Interpolationsfilters 5 anliegenden digitalen Eingangssignals.

Wie man aus Fig. 4b erkennen kann, sind jedoch die Gruppenlaufzeiten, die durch die verschiedenen Filterkoeffizientensätze, welche basierend auf der Basisfunktion durch die Filterkoeffizienten-Generierungseinrichtung 15 erzeugt werden, unterschiedlich. Die Gruppenlaufzeiten verlaufen dabei innerhalb des Nutzsinal-Frequenzbereichs Δf_{nutz} bis zu $f = 0,45 f_{\text{in}}$ im wesentlichen konstant.

Die Filterkoeffizienten-Erzeugungseinrichtung 15 vergleicht die Gruppenlaufzeiten τ mit der über die Einstelleitung 17

eingestellten Soll-Gruppenlaufzeit τ_{soll} und selektiert denjenigen Filterkoeffizientensatz, dessen Gruppenlaufzeit innerhalb des Nutzsignal-Frequenzbereichs Δf_{nutz} der eingestellten Soll-Gruppenlaufzeit entspricht. Es wird derjenige Filterkoeffizientensatz selektiert, bei dem die Abweichung zwischen der im Nutzsignal-Frequenzbereich konstanten Gruppenlaufzeit τ und der Soll-Gruppenlaufzeit τ_{soll} minimal ist.

Die Fig. 5a, 5b zeigen ein weiteres Beispiel eines erfindungsgemäßen Interpolationsfilters 5, dessen Nutzsignal-Frequenzbereich etwa $0,24 f_{\text{in}}$ beträgt. Es ist aus den Figuren 5a, 5b erkennbar, dass der Dämpfungsverlauf innerhalb und außerhalb des Nutzsignalfrequenzbereichs tiefpassförmig ist.

Fig. 6 zeigt den Verlauf der eingesetzten Basisfunktion $BF(x)$ für das in den Figuren 4a, 4b dargestellte Interpolationsfilter.

Wie bereits erwähnt, kann dem Interpolationsfilter 5 ein Hochpaßfilter 9 nachgeschaltet werden, um Verzerrungen, die aufgrund des tiefpaßförmigen Dämpfungsverlaufs des Amplitudenganges des Interpolationsfilters 5 entstehen, zu kompensieren. Vorzugsweise besitzt die Reihenschaltung des Interpolationsfilters 5 mit dem Hochpaßfilter 9 eine sinc-Filtercharakteristik. Weiterhin kann dem Interpolationsfilter 5 ein weiteres Interpolationsfilter herkömmlicher Art zur Einengung des Nutzsignal-Frequenzbereichs vorgeschaltet werden. Dieses vorgeschaltete Interpolationsfilter kann ein Polyphasenfilter sein.

Zur digitalen Interpolation des digitalen Eingangssignals, das eine bestimmte Taktfrequenz f_{in} aufweist, werden die Filterkoeffizienten des einstellbaren Interpolationsfilters 5 derart bestimmt, dass der Amplitudengang einen tiefpaßförmigen Dämpfungsverlauf in dem Nutzsignal-Frequenzbereich Δf_{nutz} des digitalen Eingangssignals aufweist. Die Filterkoeffizienten des Interpolationsfilters 5 werden dabei in Abhängigkeit

von einer Basisfunktion BF bestimmt. Diese Basisfunktion BF wird entweder vorab in einem internen Speicher 20 des Interpolationsfilters 5 abgespeichert oder durch eine Basisfunktion-Generierungseinrichtung auf der Grundlage von vorgegebenen Grundfunktionen GF generiert.

Vorzugsweise werden dabei zwei fundamentale Grundfunktionen eingesetzt, wobei es sich bei der ersten Grundfunktion um eine zeitbegrenzte potenzierte Sinusfunktion mit folgender Gleichung handelt:

$$h_1(t) = \sin[t \cdot \pi/n]^m \cdot \sigma(t) - \sin[t \cdot \pi/n]^m \cdot \sigma(t-n) \quad (3)$$

$m, n \geq 1 \quad m, n \in \mathbb{R}$

wobei $\sigma(t-n)$ Einheitssprung zum Zeitpunkt n ist.

Bei der zweiten fundamentalen Grundfunktion handelt es sich um eine Abtasthaltefunktion erster Ordnung mit folgender Gleichung:

$$h_2(t) = \sigma(t) - \sigma(t-n) \quad (4)$$

wobei $\sigma(t-n)$ der Einheitssprung zum Zeitpunkt n ist.

Die Basisfunktionen BF können entweder aus den Grundfunktionen GF gemäß Gleichung (3), (4) selbst bestehen oder durch Verknüpfungsoperationen der Grundfunktionen in der Basisfunktion-Generierungseinrichtung generiert werden.

Die Verknüpfungsoperationen umfassen die folgenden Operationen:

30

a) Faltung zweier Impulsantworten der Grundfunktionen im Zeitbereich und Bilden einer resultierenden neuen Impulsantwort als Basisfunktion,

35

b) Verschieben und Multiplizieren der Übertragungsfunktionen im Frequenzbereich und Bilden einer resultierenden neuen Impulsantwort als Basisfunktion,

c) Verschieben und Addieren zweier gleicher Impulsantworten im Zeitbereich und Bilden einer resultierenden neuen Impulsantwort als Basisfunktion,

5

d) Addieren zweier unterschiedlicher Impulsantworten im Zeitbereich und Bilden einer resultierenden, neuen Impulsantwort als Basisfunktion,

10 e) Stauchen und Dehnen bzw. Dehnen und Stauchen der Impulsantworten im Zeitbereich bzw. Frequenzbereich,

f) Potenzieren der Impulsantwort im Zeitbereich mit einer rationalen Zahl,

15

g) Fensterung der Impulsantwort mit einem vorgegebenen Fenster.

Falls die Berechnung der Basisfunktion in Echtzeit schal-

20 tungstechnisch zu aufwendig ist, kann alternativ zur Generierung der Basisfunktion die Basisfunktion als abgetastete Impulsantwort in einer Speichereinrichtung 20, beispielsweise einem ROM-Speicher, des Interpolationsfilters 5 abgespeichert werden. Dabei werden die in dem Basis-Funktionsspeicher 20

25 abgespeicherten Werte durch die Filterkoeffizienten-Generierungseinrichtung 15 ausgelesen. Weiterhin ist es möglich, die Impulsantwort der Basisfunktion BF als Ganzes oder abschnittsweise durch Polynome zu approximieren.

30 Die Basisfunktionen BF können auf der Grundlage der Grundfunktionen GF auch durch mehrfache operative Verknüpfung erzeugt werden.

Das erfindungsgemäße Interpolationsfilter genügt verschiedenen Anforderungen.

35

Die Differenz der Amplitudengänge der einzelnen Polyphasen werden bei einem vorgegebenen schaltungstechnischen Aufwand minimiert.

- 5 Weiterhin verlaufen die Gruppenlaufzeiten τ der einzelnen Polyphasen innerhalb einer Taktperiode T_{in} des digitalen Eingangssignals im wesentlichen konstant.

10 Jede einzelne Polyphase weist Amplitudenunterschiede von mindestens 2 dB auf.

Ferner weist das erfindungsgemäße Interpolationsfilter eine Tiefpaßcharakteristik auf.

- 15 Mit dem erfindungsgemäßen Interpolationsfilter kann man auch hybride Systeme aufbauen. Dazu wird das Interpolationsfilter in zwei Polyphasen aufgeteilt, wobei sich zur Realisierung zwei Architekturen anbieten. Dabei werden bei der ersten Architektur die geraden Filterkoeffizienten mit der einen Polyphase multipliziert und die ungeraden Filterkoeffizienten mit der anderen Polyphase. Bei der anderen Architektur wird ein Tiefpaßsignal erzeugt, indem man die beiden Polyphasen addiert. Daraufhin wird dieses Signal mit dem abgetasteten zeitkontinuierlichen Filter gefaltet. Ebenso erzeugt man ein Hochpaßsignal, indem man die eine Polyphase von der anderen subtrahiert. Daraufhin wird bei dem zeitkontinuierlichen Filter jeder zweite Abtastwert invertiert, bevor man eine Signalfaltung durchführt. Schließlich werden das gefaltete Tiefpaß- und Hochpaßsignal miteinander addiert.

30

Fig. 7 zeigt den Gruppenlaufzeitverlauf eines erfindungsgemäßen Interpolationsfilters 5 im Vergleich zu dem Gruppenlaufzeitverlauf eines herkömmlichen Interpolationsfilters nach dem Stand der Technik, was eine sinc-Filtercharakteristik aufweist.

35

Das erfindungsgemäße Interpolationsfilter 5 ist bei dem in Fig. 7 dargestellten Beispiel ein Interpolationsfilter mit 10 erzeugten Filterkoeffizienten, die jeweils 10 Bit Wortbreite besitzen. Dabei wird als Basisfunktion die in Gleichung (2) angegebene Basisfunktion zur Erzeugung der Filterkoeffizienten eingesetzt. Das erfindungsgemäße Interpolationsfilter 5 erzeugt den Gruppenlaufzeitverlauf τ_1 , der, wie man aus Fig. 7 erkennen kann, nur minimal von der eingestellten idealen Gruppenlaufzeit abweicht.

Demgegenüber erzeugt das herkömmliche Interpolationsfilter einen Gruppenlaufzeitverlauf τ_2 , der zunehmend von der idealen bzw. eingestellten Gruppenlaufzeit bei höheren Frequenzen abweicht. Bei dem herkömmlichen Interpolationsfilter, das einen Gruppenlaufzeitverlauf τ_2 besitzt, handelt es sich bei dem in Fig. 7 dargestellten Beispiel um einen Interpolationsfilter mit 256 Filterkoeffizienten, die jeweils eine Wortbreite von 27 Bit besitzen.

Bei dem in Fig. 7 dargestellten Beispiel kann das herkömmliche Interpolationsfilter aufgrund der hohen Anzahl von Filterkoeffizienten und der großen Wortbreite der Filterkoeffizienten nur mit einem sehr hohen schaltungstechnischen Aufwand aufgebaut werden, der weit über dem Schaltungsaufwand für das Interpolationsfilter 5 liegt. Wie in Fig. 7 gezeigt, weicht trotz des höheren schaltungstechnischen Aufwandes bei dem herkömmlichen Interpolationsfilter (5) der Gruppenlaufzeitverlauf τ_2 bei dem herkömmlichen Interpolationsfilter 5 wesentlich stärker von der idealen Soll-Gruppenlaufzeit (τ_{ideal}) ab als der Gruppenlaufzeitverlauf bei dem erfindungsgemäßen Interpolationsfilter τ_1 .

Bezugszeichenliste

	1	Leitung
	2	Analog-/Digitalwandler
5	3	Tastsignalleitung
	4	Leitung
	5	Interpolationsfilter
	6	Einstelleitung
	7	Einstelleitung
10	8	Signalausgangsleitung
	9	Hochpaßfilter
	10	Leitung
	11	digitaler Signaleingang
	12	Leitung
15	13	Multipliziereinrichtung
	14	Leitung
	15	Filterkoeffizienten-Berechnungseinrichtung
	16	Einstelleitung
	17	Einstelleitung
20	18	Einstellanschluß
	19	Einstellanschluß
	20	Speichereinrichtung
	21	Leitung
	22	Leitung
25	23	Akkumulator
	24	Addierer
	25	Leitung
	26	Register
	27	Leitung
30	28	Rückkoppelleitung
	29	Rücksetzleitung
	30	Rücksetzleitung
	31	Rücksetzanschluß
	32	Rücksetzleitung
35	33	Ausgangsleitung
	34	Ausgangsanschluß

Patentansprüche

1. Interpolationsfilter zur Filterung eines digitalen Eingangssignals, dessen Amplitudengang einen tiefpaßförmigen Dämpfungsverlauf im Nutzsignal-Frequenzbereich Δf_{nutz} des digitalen Eingangsbereichs aufweist.
5
2. Interpolationsfilter zur Filterung eines digitalen Eingangssignals, dessen Amplitudengang einen tiefpassförmigen Dämpfungsverlauf sowohl innerhalb als auch außerhalb des Nutzsignal-Frequenzbereich Δf_{nutz} aufweist.
10
3. Interpolationsfilter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass dem Interpolationsfilter (5) ein Hochpaßfilter (9) zur Kompensation des tiefpaßförmigen Amplitudengangs nachgeschaltet ist.
15
4. Interpolationsfilter nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Nutzsignal-Frequenzbereich Frequenzbereich Δf_{nutz} des digitalen Eingangssignales die Gruppenlaufzeit τ des Interpolationsfilters (5) im wesentlichen konstant verläuft.
20
25
5. Interpolationsfilter nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das digitale Eingangssignal ein äquidistantes digitales Signal mit einer vorbestimmten Taktperiode T_{in} ist.
30
6. Interpolationsfilter nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gruppenlaufzeit τ des Interpolationsfilters (5) innerhalb einer Taktperiode T_{in} des digitalen Eingangssignals einstellbar ist.
35

7. Interpolationsfilter nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
5 dass das Verhältnis der Taktperioden des digitalen Eingangssignals T_{in} und des durch das Interpolationsfilter (5) gefilterten digitalen Ausgangssignals T_{aus} einstellbar ist.
8. Interpolationsfilter nach Anspruch 3,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass das Interpolationsfilter (5) und das nachgeschaltete Hochpaßfilter (9) zusammen eine sinc-Filtercharakteristik aufweisen.
- 15 9. Interpolationsfilter nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass dem Interpolationsfilter (5) ein weiteres Interpolationsfilter zur Einengung des Nutzsignal-Frequenzbereichs Δf_{nutz}
20 vorschaltbar ist.
10. Interpolationsfilter nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass das vorschaltbare Interpolationsfilter ein Polyphasen-
25 filter ist.
11. Interpolationsfilter nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
30 dass es aufweist:
eine Filterkoeffizienten-Erzeugungseinrichtung (15) zum Erzeugen von Filterkoeffizienten in Abhängigkeit von einer Basisfunktion BF;
eine Multiplikationseinrichtung (13) zur Multiplikation des
35 digitalen Eingangssignals mit den erzeugten Filterkoeffizienten, und

einen Akkumulator (23) zur Akkumulation des durch die Multiplikation gewichteten digitalen Eingangssignals.

12. Interpolationsfilter nach einem der vorangehenden Ansprüche,

gekennzeichnet durch eine Speichereinrichtung (20) zum Abspeichern der Basisfunktion.

13. Interpolationsfilter nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 11,

gekennzeichnet durch eine Basisfunktion-Generierungseinrichtung zum Generieren der Basisfunktion in Abhängigkeit von Grundfunktionen.

14. Interpolationsfilter nach Anspruch 13,

gekennzeichnet durch eine Speichereinrichtung zum Abspeichern der Grundfunktionen.

15. Interpolationsfilter nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,
dass eine steuerbare Schalteinrichtung (28) zum Auslesen des gewichteten digitalen Eingangssignals als ein digitales Ausgangssignal vorgesehen ist.

16. Interpolationsfilter nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,
dass der Akkumulator (23) aus einem Addierer (24) und einem Register (26) besteht, dessen Ausgang an einen Eingang des Addierers (24) rückgekoppelt ist.

17. Verfahren zur digitalen Interpolation eines digitalen Eingangssignales mit den folgenden Schritten:

(a) Empfangen eines digitalen Eingangssignals mit einer vorbestimmten Taktfrequenz f_{in} ;

(b) Bestimmen von Filterkoeffizienten eines einstellbaren Interpolationsfilters, dessen Amplitudengang einen tiefpaßförmigen Dämpfungsverlauf im Nutzsinal-Frequenzbereich des digitalen Eingangssignals aufweist;

5 (c) Filtern des digitalen Eingangssignals durch das eingestellte Interpolationsfilter.

18. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem die Filterkoeffizienten des Interpolationsfilters (5) in Abhängigkeit von einer
10 Basisfunktion BF bestimmt werden.

19. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 17 oder 18, bei dem die Basisfunktion BF in einem Speicher (20) abgespeichert wird.

15 20. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 17 oder 18, bei dem die Basisfunktion BF aus vorgegebenen Grundfunktionen GF generiert wird.

20 21. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem eine erste Grundfunktion eine zeitbegrenzte potenzierte Sinusfunktion ist.

22. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die erste Grundfunktion lautet:

25
$$h_1(t) = \sin[t \cdot \pi/n]^m \cdot \sigma(t) - \sin[t \cdot \pi/n]^m \cdot \sigma(t-n)$$

$$m, n \geq 1 \quad m, n \in \mathbb{R}$$

wobei $\sigma(t-n)$ der Einheitssprung zum Zeitpunkt n ist.

23. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem die zweite Grundfunktion GF eine Abtasthaltefunktion erster Ordnung ist.

24. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die zweite Grundfunktion lautet:

$$h_2(t) = \sigma(t) - \sigma(t-n)$$

35 wobei $\sigma(t-n)$ der Einheitssprung zum Zeitpunkt n ist.

25. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem eine Vielzahl von Filterkoeffizientensätzen des Interpolationsfilters (5) in Abhängigkeit von der Basisfunktion BF generiert werden, die jeweils im Nutzsinal-Frequenzbereich Δf_{nutz} einen im wesentlichen gleichen Amplitudengang und unterschiedliche Gruppenlaufzeiten τ aufweisen, wobei anschließend derjenige Filterkoeffizientensatz zur Bestimmung der Filterkoeffizienten des Interpolationsfilters (5) selektiert wird, dessen Gruppenlaufzeit τ der eingestellten Soll-Gruppenlaufzeit τ_{soll} entspricht.

This Page Blank (uspto)

1/5

FIG 1

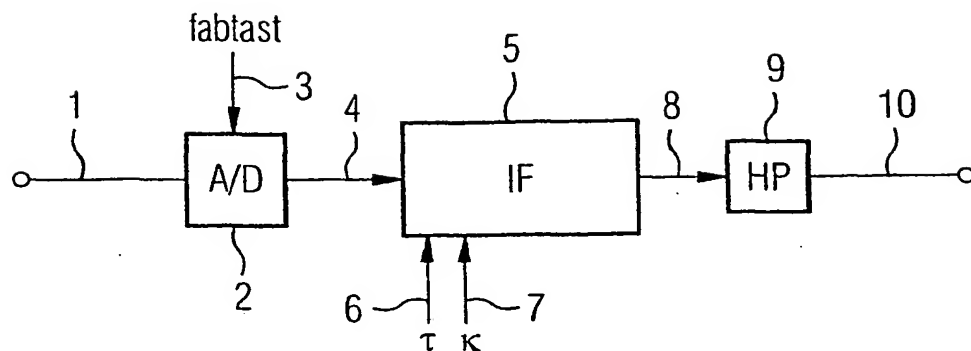
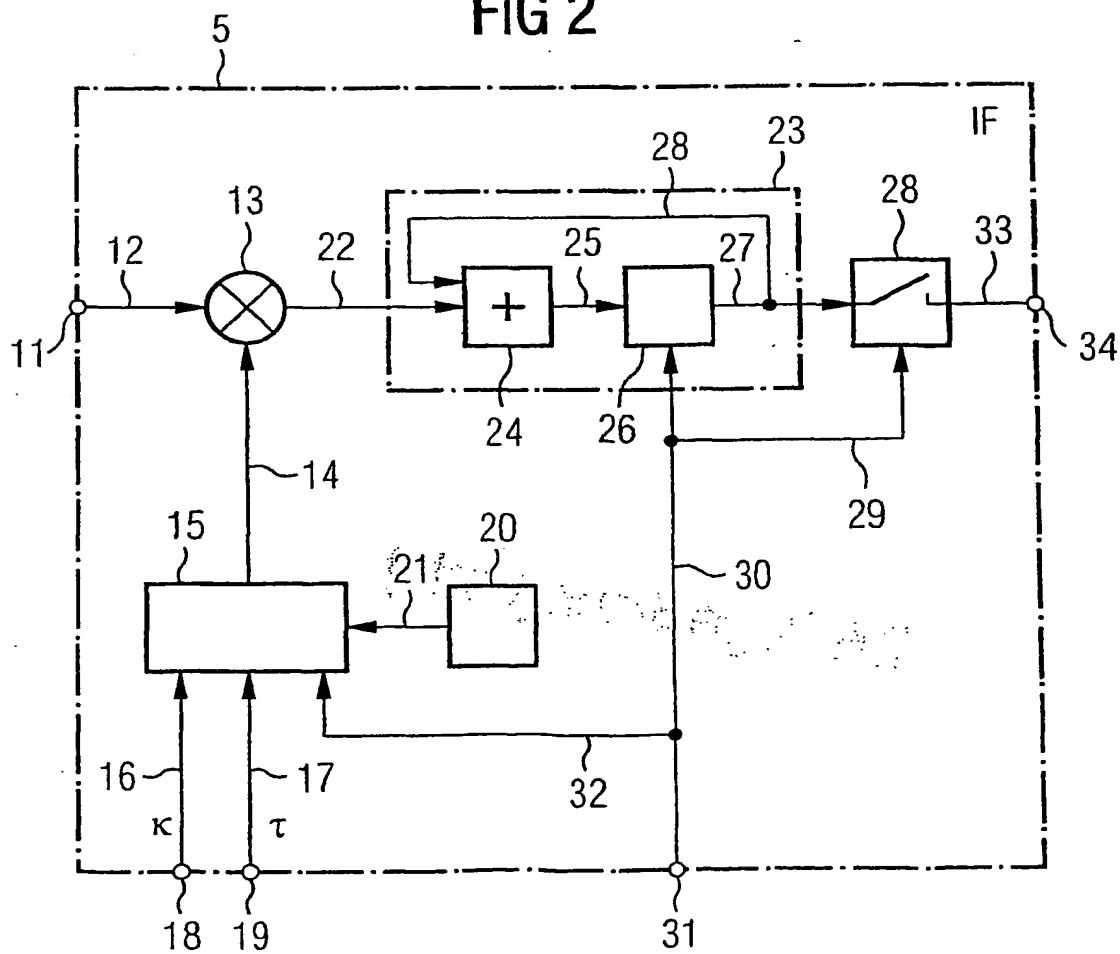


FIG 2



This Page Blank (uspto)

2/5

FIG 3A

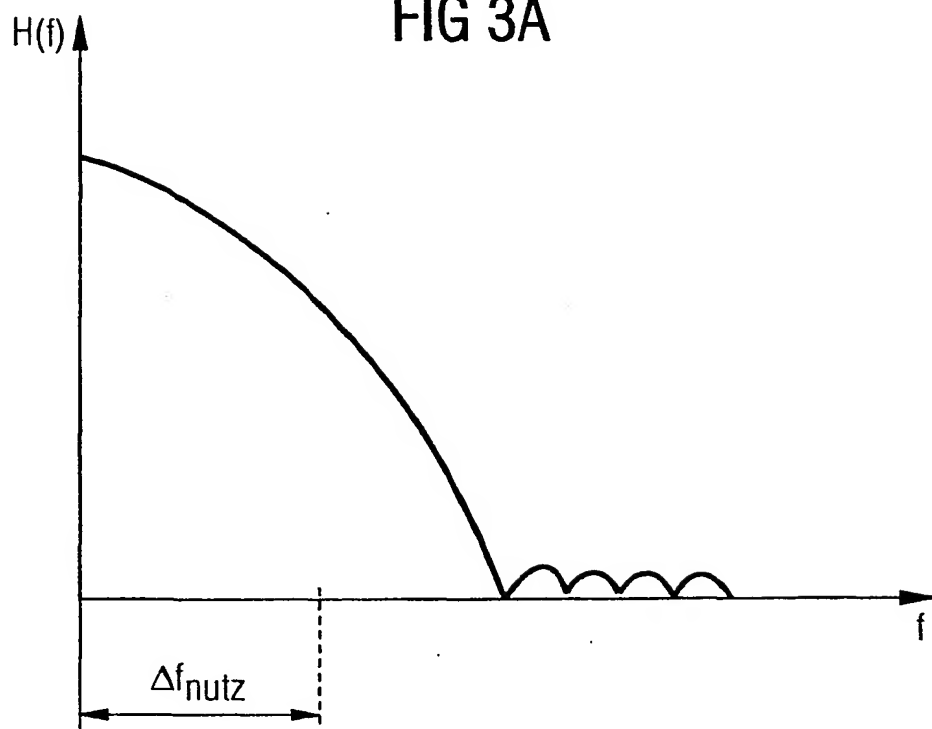
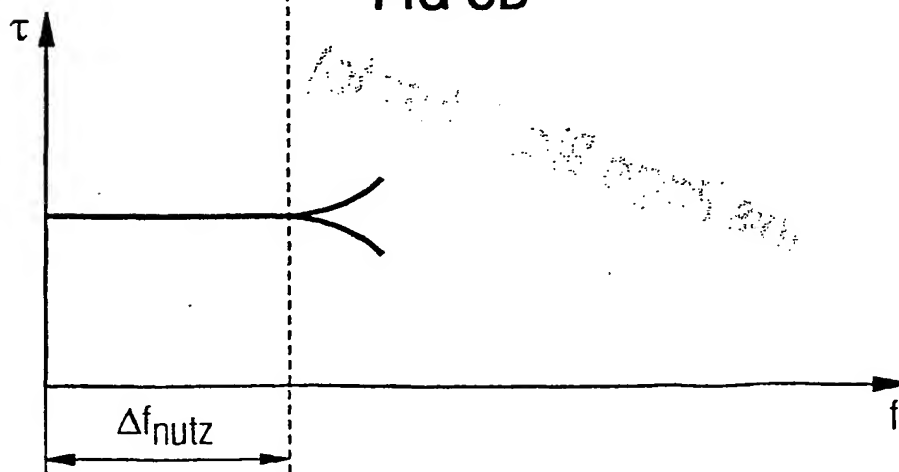


FIG 3B



This Page Blank (uspto)

3/5

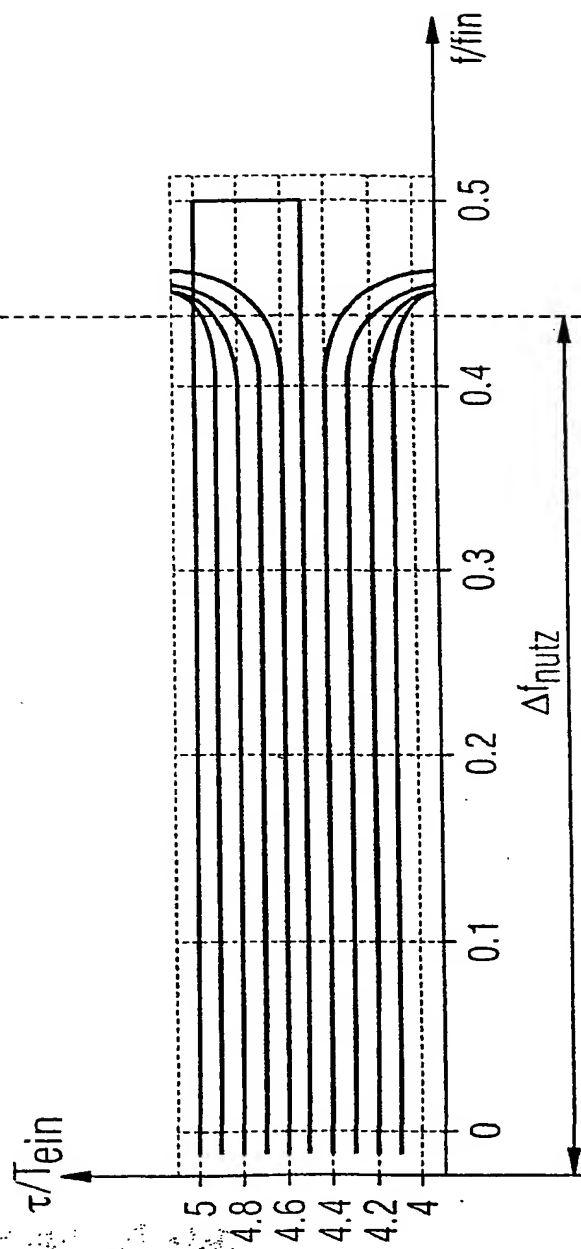
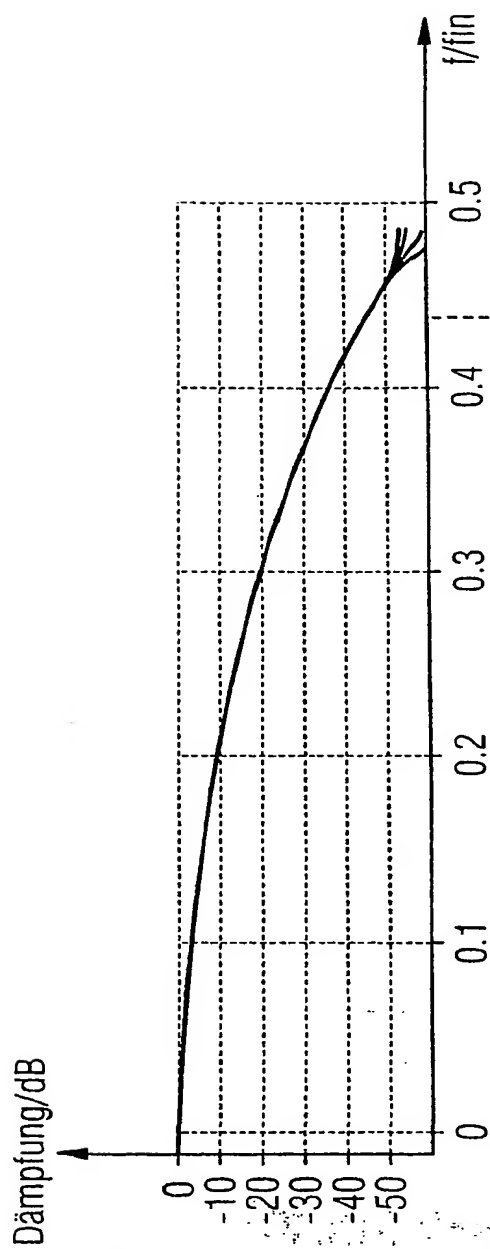
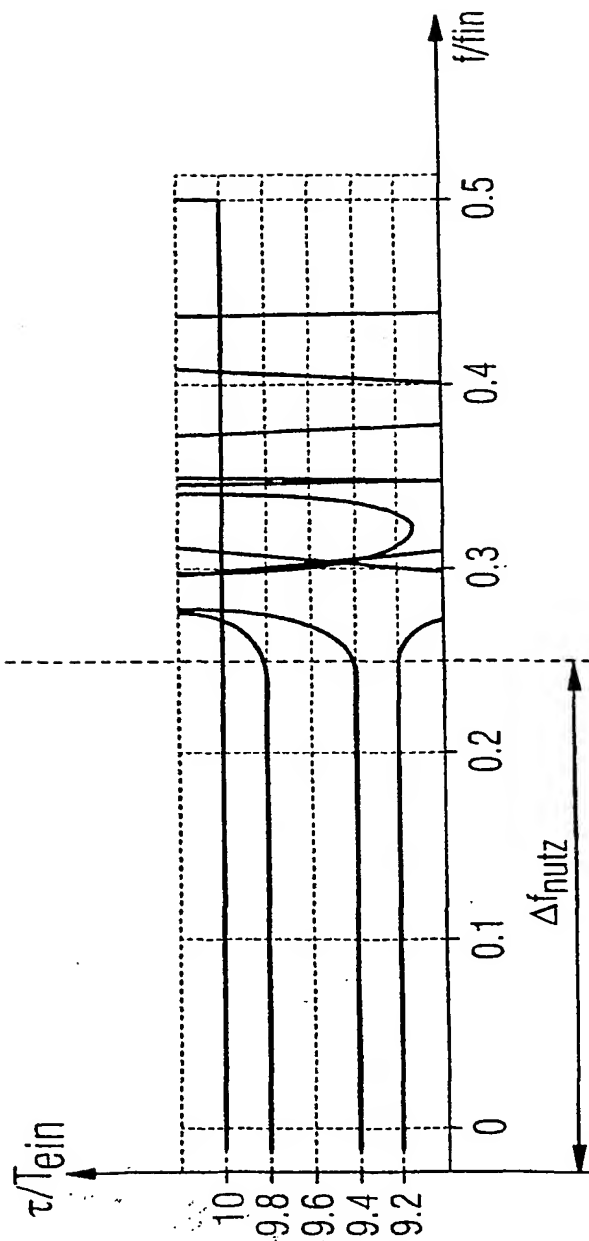
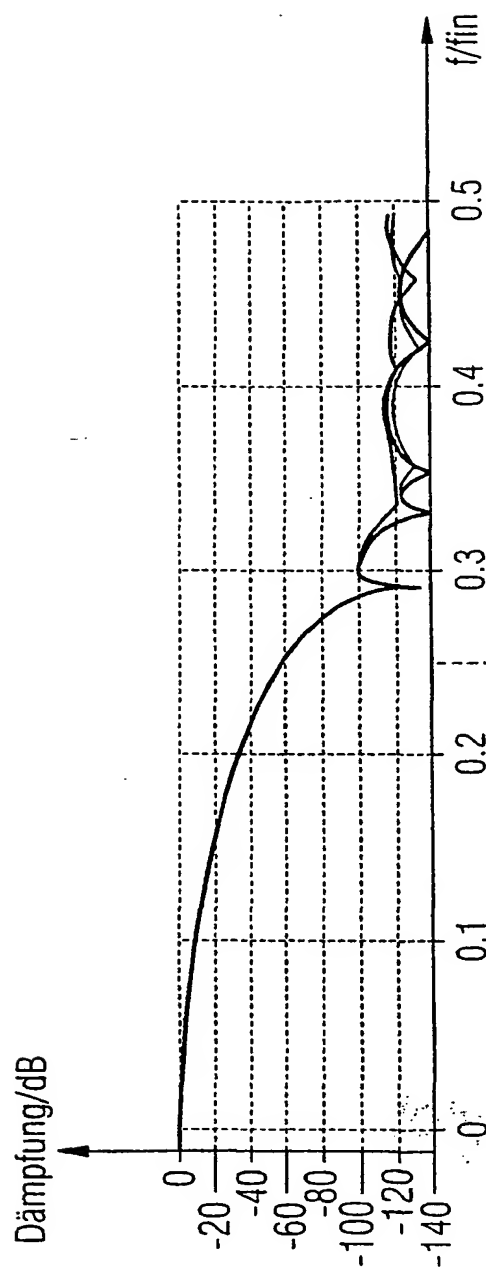


FIG 4A

FIG 4B

This Page Blank (uspto)

4/5



This Page Blank (uspto)

5/5

FIG 6

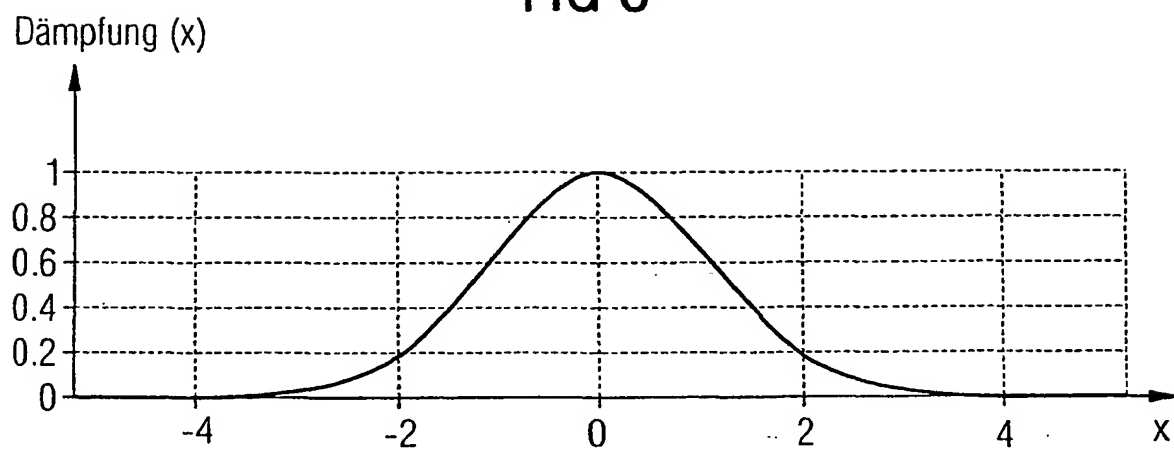
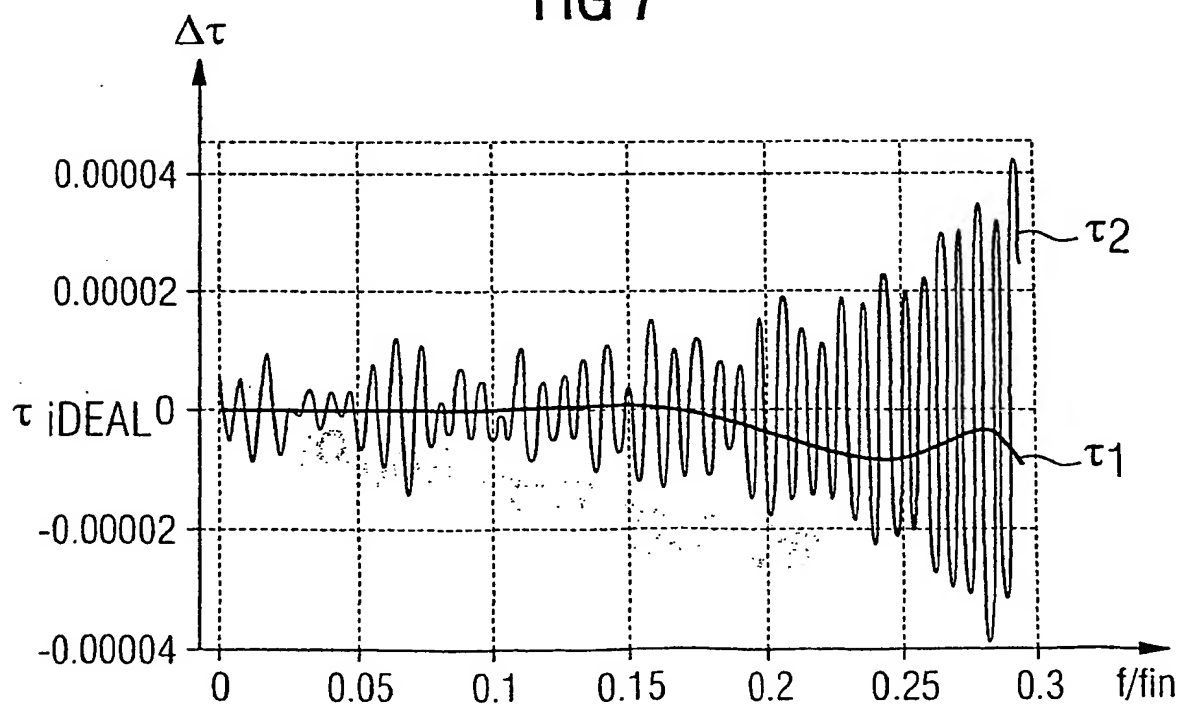


FIG 7



This Page Blank (uspto)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

EP 01/07543

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H03H17/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GLAAB: "Welche Vorteile bietet das Oversampling-Verfahren der GRUNDIG Compact-Disc-Spieler" GRUNDIG TECHNISCHE INFORMATIONEN., vol. 31, no. 1/2, 1984, pages 3-7, XP002184450 GRUNDIG AG. FURTH., DE page 3, column 2, line 1 -page 4, column 1, line 23; figures 1-3 ---	1-5
A	EP 0 561 067 A (INNOVISION LTD) 22 September 1993 (1993-09-22) cited in the application page 3, line 29 -page 4, line 45; figures 1-3 --- -/--	1-3



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 November 2001

Date of mailing of the international search report

13/12/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Coppieters, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

P 01/07543

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
------------	--	-----------------------

A	LAGADEC: "PREPRINTS OF PAPERS PRESENTED AT THE AES CONVENTION, XX, XX" PREPRINTS OF PAPERS PRESENTED AT THE AES CONVENTION, XX, XX, 8 October 1984 (1984-10-08), pages 1-12, XP002113883 page 2, line 11 -page 6, line 33	6,7,10
---	---	--------

A	US 4 748 578 A (LAGADEC ROGER ET AL) 31 May 1988 (1988-05-31) the whole document	11
---	--	----

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

EP 01/07543

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0561067	A	22-09-1993	DE 69230788 D1	20-04-2000
			DE 69230788 T2	07-09-2000
			EP 0561067 A2	22-09-1993
			US 5335194 A	02-08-1994
US 4748578	A	31-05-1988	AT 14358 T	15-08-1985
			CA 1186751 A1	07-05-1985
			DE 3171426 D1	22-08-1985
			EP 0052847 A2	02-06-1982
			JP 1647512 C	13-03-1992
			JP 3009644 B	08-02-1991
			JP 57115015 A	17-07-1982

This Page Blank (uspto)

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H03H17/06

Nach der Internationalen Patenklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H03H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	GLAAB: "Welche Vorteile bietet das Oversampling-Verfahren der GRUNDIG Compact-Disc-Spieler" GRUNDIG TECHNISCHE INFORMATIONEN., Bd. 31, Nr. 1/2, 1984, Seiten 3-7, XP002184450 GRUNDIG AG. FURTH., DE Seite 3, Spalte 2, Zeile 1 -Seite 4, Spalte 1, Zeile 23; Abbildungen 1-3 ---	1-5
A	EP 0 561 067 A (INNOVISION LTD) 22. September 1993 (1993-09-22) in der Anmeldung erwähnt Seite 3, Zeile 29 -Seite 4, Zeile 45; Abbildungen 1-3 --- -/-	1-3

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

* A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

* E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

* L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

* O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

* P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

* T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

* X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

* Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

* &* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

30. November 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

13/12/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Coppieters, C

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^o	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	LAGADEC: "PREPRINTS OF PAPERS PRESENTED AT THE AES CONVENTION, XX, XX" PREPRINTS OF PAPERS PRESENTED AT THE AES CONVENTION, XX, XX, 8. Oktober 1984 (1984-10-08), Seiten 1-12, XP002113883 Seite 2, Zeile 11 -Seite 6, Zeile 33	6,7,10
A	US 4 748 578 A (LAGADEC ROGER ET AL) 31. Mai 1988 (1988-05-31) das ganze Dokument	11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die derselben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

EP 01/07543

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0561067	A	22-09-1993	DE 69230788 D1 20-04-2000
		DE 69230788 T2 07-09-2000	
		EP 0561067 A2 22-09-1993	
		US 5335194 A 02-08-1994	
US 4748578	A	31-05-1988	AT 14358 T 15-08-1985
		CA 1186751 A1 07-05-1985	
		DE 3171426 D1 22-08-1985	
		EP 0052847 A2 02-06-1982	
		JP 1647512 C 13-03-1992	
		JP 3009644 B 08-02-1991	
		JP 57115015 A 17-07-1982	

This Page Blank (uspto)